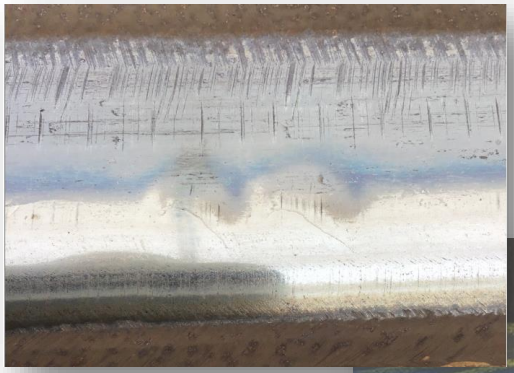
SBB CFF FFS

«Squat» - ein Gesamtsystemversagen!

Den Ursachen mit netzweiter SBB-Statistik auf der Spur «?»



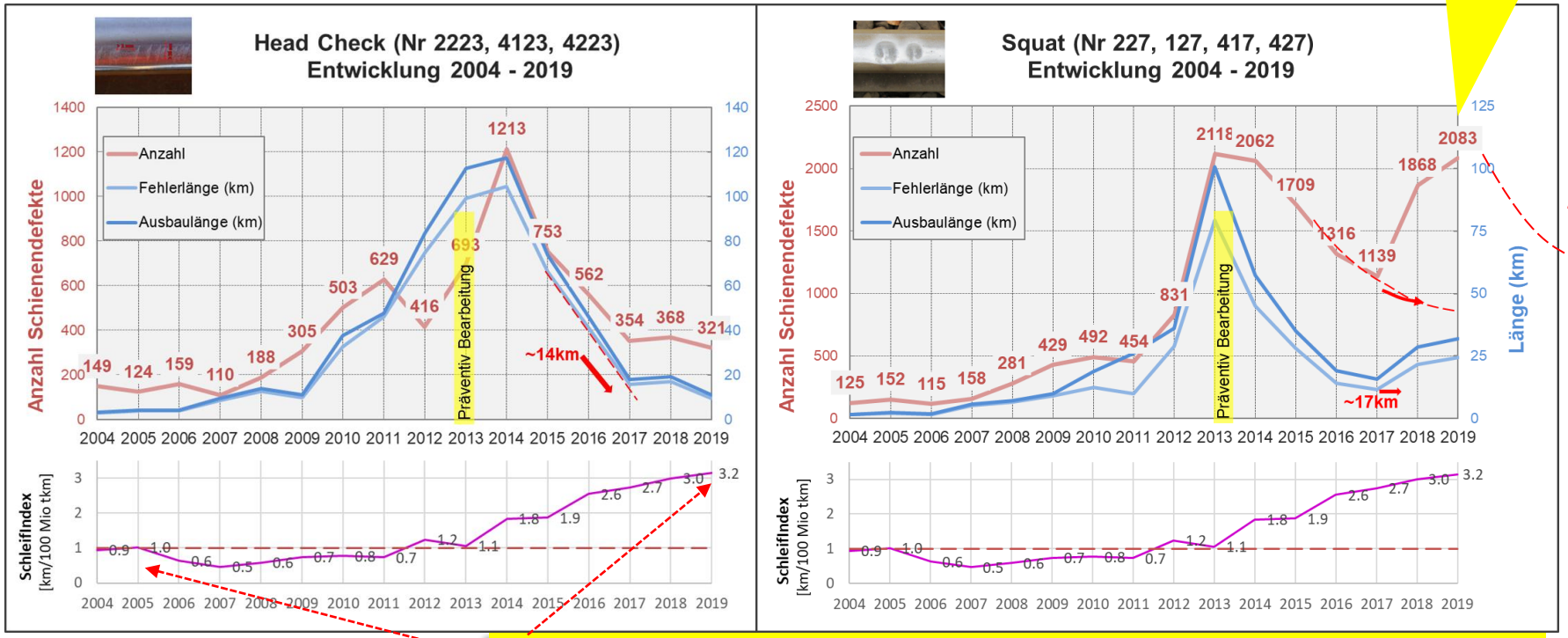
Ingolf Nerlich
Graz 13.09.2021

Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

Aktuelle Fallzahlen: Headcheck und Squats

Kadenz⇧, Gleismenge⇧

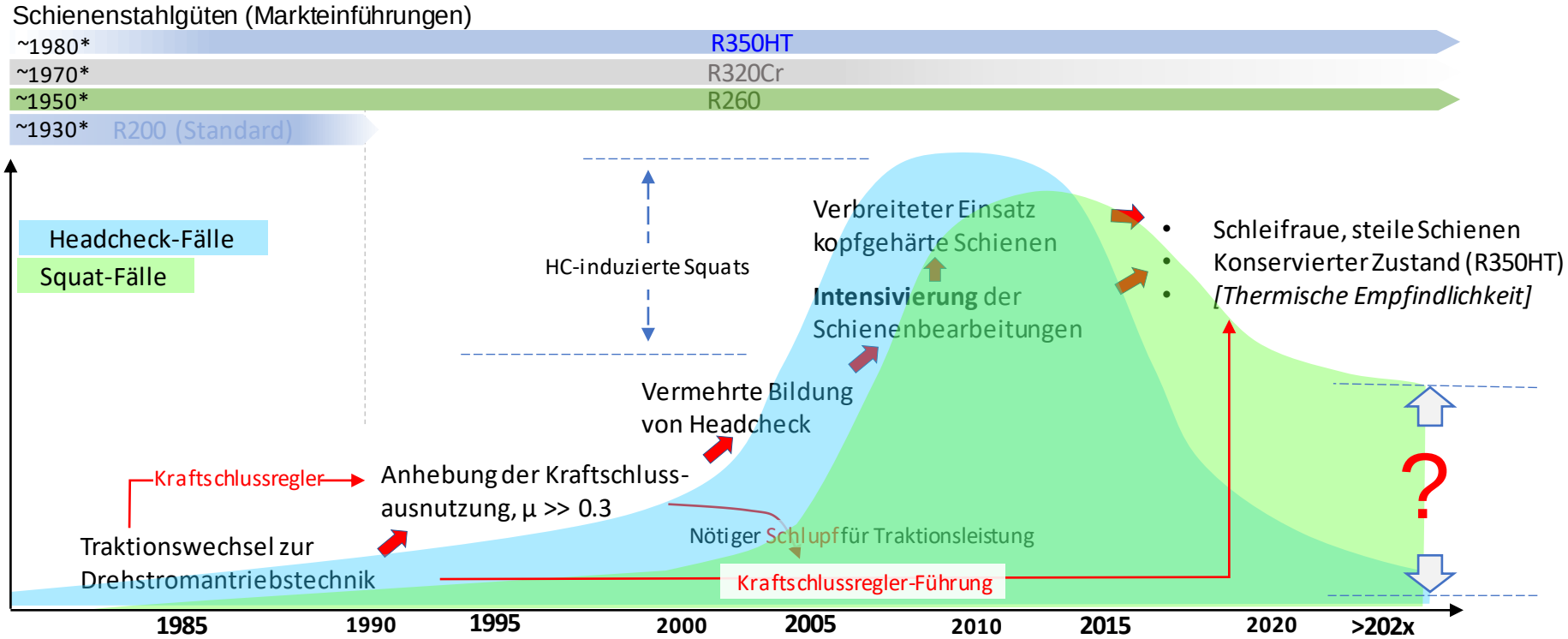


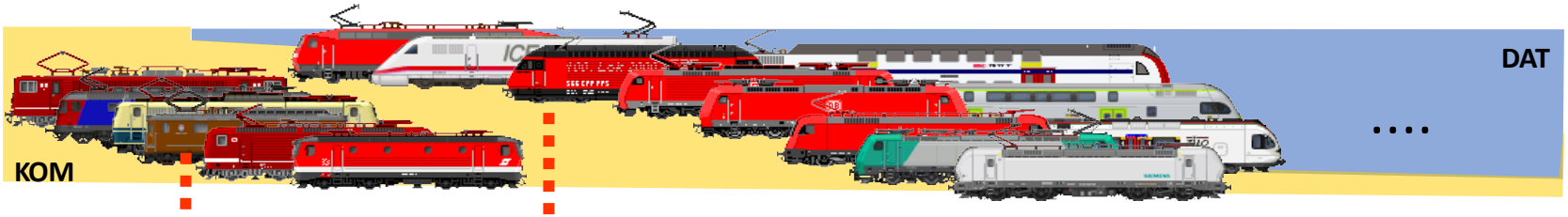
?

3x mehr Unterhalt für gleiche Fehlerdichte! **«Irgendwas am Verkehr ist anders»**

- **HC:** Massive präventive Schienenpflege (prognosegestützt). HC ist unter Kontrolle.
- **Squat:** Trotz massiver Schienenbearbeitung kaum sinkende Fallzahl (die Medizin hilft nicht!)
- Fall-Mehrzahl kommt <u>überraschend</u>, innert weniger Monate/Wochen
- Squats ähneln Erkrankung kanzerogenen Umfelds. Interdisziplinäre Ansätze denken!

System – Anamnese:





1986 Frankenwaldrampe (BR151-vs. BR120)
Euphorie in Zugförderung: die 4-achsigen Loks mit DAT genügen auch.. Ziehen sogar mehr.

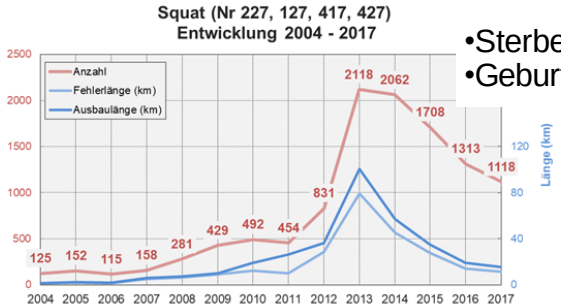
1994 Messungen Lauda

- «Je mehr Schupf, desto mehr Zieh»!, «Gruppenantriebe tun es auch», Einzelachsantrieb muss nicht sein!
- Zeitzeugen: Bewusstsein für Rad-Schiene-Schädigung vorhanden, Limit → Reibleistung/Energie.
- Degressive Schlupfführung wegen Antriebsdynamik, der Rollierschutz war schon 1986 erfunden!

* 2006, Heyder R., Girsch G.: "Advanced pearlitic and bainitic high strength rails promise to improve rolling contact fatigue resistance"

Betrachtung des Squats als System«erkrankung»

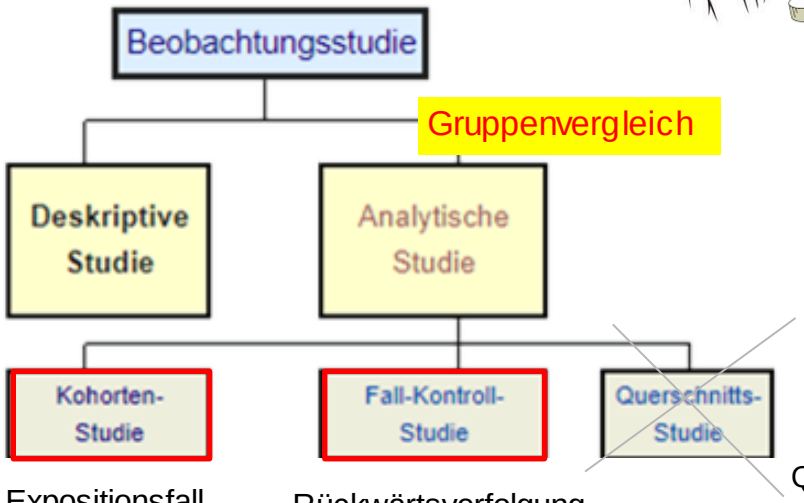
Vorgehen bei klinischen «Beobachtungsstudien»



- Sterberegister
- Geburtsregister

Wichtig, aber erklärt nichts !

Squats werden «dauerhafter Begleiter»
ca. 1000 Fälle pro Jahre



Quelle: Wikipedia

Risiko im Expositionsfall zu Kontrollgruppen

Rückwärtsverfolgung der Erkrankung: **Auf hist. Squats zurückschauen!**

Nikotinkonsum	Koronare Herz-krankheit tritt auf	Koronare Herzkrankheit tritt nicht auf	Gesamt	Fälle pro 1000 pro Jahr
Rauchen (Exponiert)	84	2916	3000	28,0
~~Rauchen~~ (Nichtexponiert)	87	4913	5000	17,4

- 28/17 pro Tausend: 1.6 höheres Risiko im Expositionsfall
- Alle «Expositionsparameter» müssen im Wirkeffekt klar und beschreibbar sein

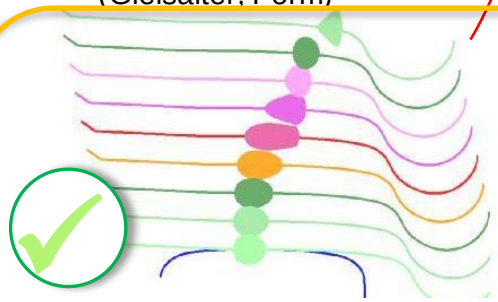
(Zahl blauer Zigaretten beschreibt keinen Wirkeffekt, Nikotingehalt schon eher) → **Indikatoren suchen**

- beschreibbar
- Näherung
- Nicht Abbildungsfähig

Übersicht der Einflussparameter (bestimmbar?)

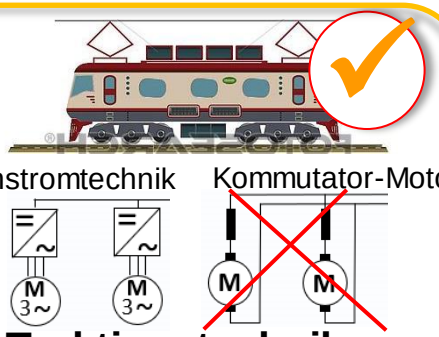
Schienenfehlertypen und Traktionstechnik, → Squats: Zutatenliste (extrem vereinfacht)

Systemsteifigkeiten
(Gleisalter, Form)



Örtliche Kontaktpaarung Rad /Schiene
(Kontaktspannungen und Lasten)

Betrieb: Traktion/Bremsen (Ort)



Traktionstechnik
(Fahrzeugverhalten bei Zugkraftausübung)

Stahlgüte und Bearbeitung
(Bearbeitungsart, Ort/Zeit und Qualität)

Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

Studien-Grundlage «netzweite Statistik»

- Örtliche Beanspruchungs**vorgeschichte** eines Squats ist <u>aufzulösen</u>
- Örtliche Instandhaltungs-, Pflege und Geometrie**historie** ist aufzuklären.
- Statistisch herausfordernd ist, dass die «ungeschädigte» Kontrollgruppe ~(2x5500 km) gegenüber den Squatzonen ~Σ25 km gross ausfällt. (0.2%)
- Die Datenqualität der Squatbeobachtung muss hoch sein, (einfach Tabellen abfüllen reicht nicht!)
- Interaktionstechnische **Indikatoren** sind zu **entwickeln.** Es ist offen, welche am ehesten korrelativ den Squatbildungsvorgang beschreiben.
- SBB arbeitet mit CIS, (Industrie-Statistikfirma) zusammen, nur wenige werden mögen was gefunden wird. [Handwerkliche Fehler meiden].
- Diverse Vorgehensweisen werden von CIS durchgespielt, vor dem Hintergrund der zu erwartende grossen Datenmenge (ganzes Netz,1m , ~ 7..10 Jahre zurück)
- Erleichterung der SBB angesichts der statistischer Herausforderung sich interaktionstechnischen Fragen konzentrieren können. Ist schwer genug !

Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»

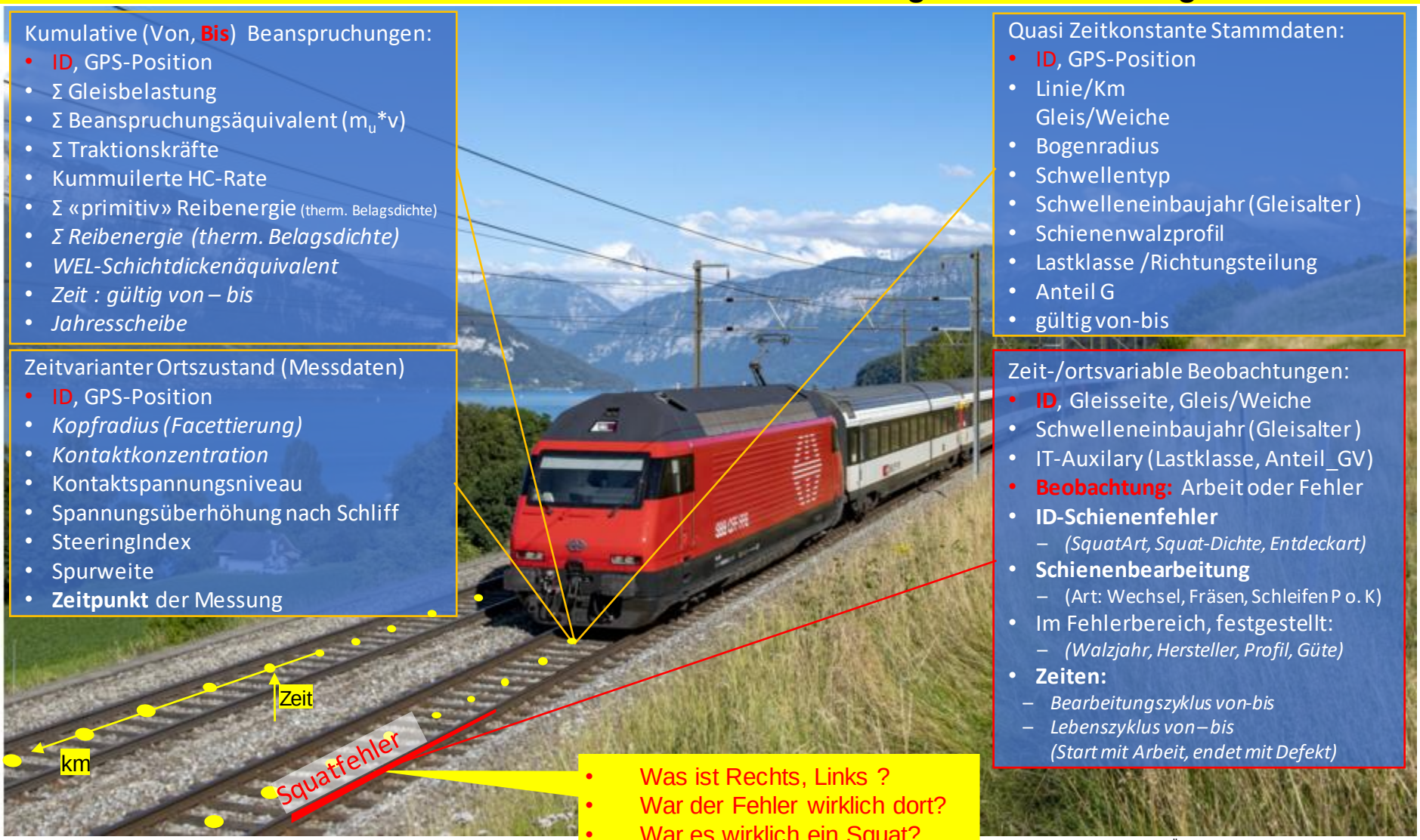
Welche Prädiktor -Kombination beschreibt Fehlerentstehung netzweit am «Signifikantesten»

Kumulative (Von, **Bis**) Beanspruchungen:
- ID, GPS-Position
- Σ Gleisbelastung
- Σ Beanspruchungsäquivalent (m_u*v)
- Σ Traktionskräfte
- Kummuilerte HC-Rate
- Σ «primitiv» Reibenergie (therm. Belagsdichte)
- *Σ Reibenergie (therm. Belagsdichte)*
- *WEL-Schichtdickenäquivalent*
- *Zeit : gültig von – bis*
- *Jahresscheibe*

Zeitvarianter Ortszustand (Messdaten)
- ID, GPS-Position
- *Kopfradius (Facettierung)*
- *Kontaktkonzentration*
- Kontaktspannungsniveau
- Spannungsüberhöhung nach Schliff
- SteeringIndex
- Spurweite
- **Zeitpunkt** der Messung

Quasi Zeitkonstante Stammdaten:
- ID, GPS-Position
- Linie/Km
  Gleis/Weiche
- Bogenradius
- Schwellentyp
- Schwelleneinbaujahr (Gleisalter)
- Schienenwalzprofil
- Lastklasse /Richtungsteilung
- Anteil G
- gültig von-bis

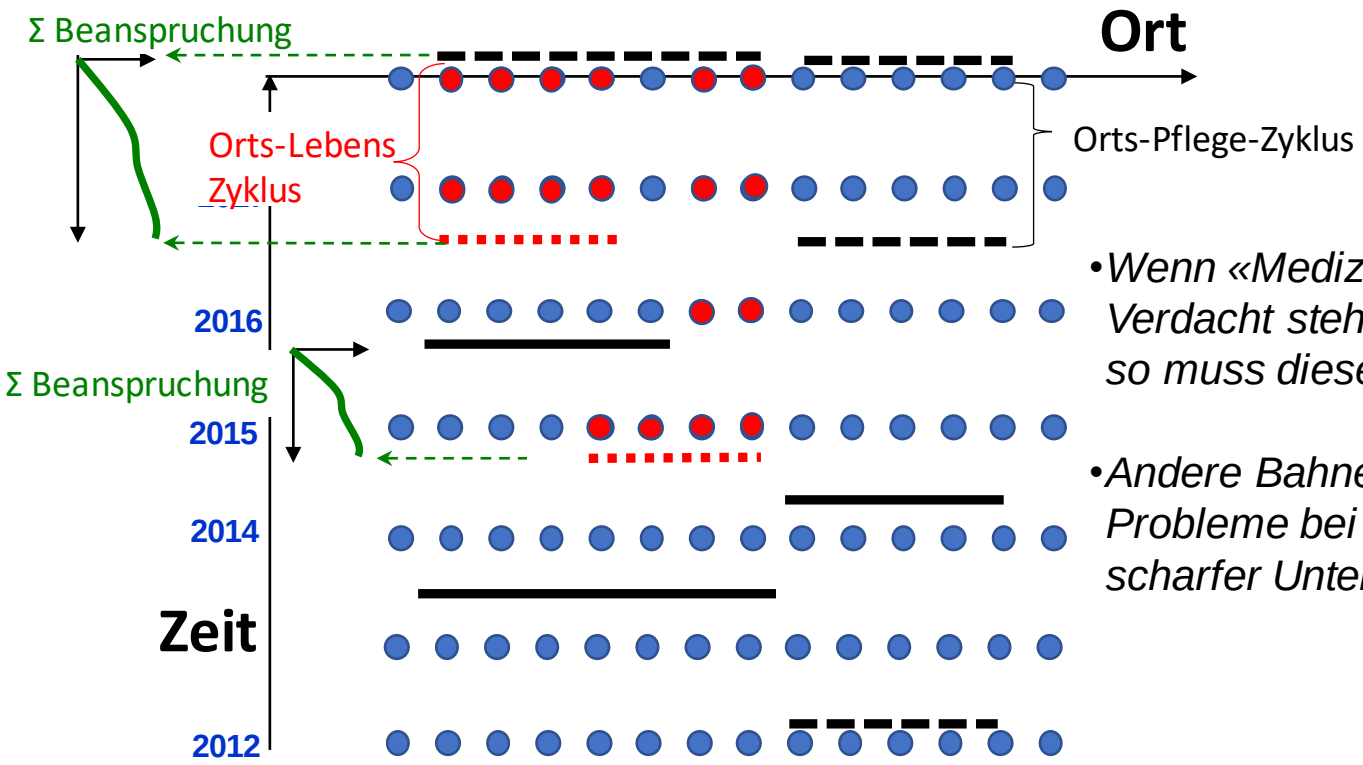
Zeit-/ortsvariable Beobachtungen:
- ID, Gleisseite, Gleis/Weiche
- Schwelleneinbaujahr (Gleisalter)
- IT-Auxilary (Lastklasse, Anteil_GV)
- **Beobachtung:** Arbeit oder Fehler
- **ID-Schienenfehler**
  - *(SquatArt, Squat-Dichte, Entdeckart)*
- **Schienenbearbeitung**
  - (Art: Wechsel, Fräsen, Schleifen P o. K)
- Im Fehlerbereich, festgestellt:
  - *(Walzjahr, Hersteller, Profil, Güte)*
- **Zeiten:**
  - *Bearbeitungszyklus von-bis*
  - *Lebenszyklus von – bis*
    (Start mit Arbeit, endet mit Defekt)



- Was ist Rechts, Links ?
- War der Fehler wirklich dort?
- War es wirklich ein Squat?

Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»

Orts-Krankenakte



- *Wenn «Medizin=Schienenbearbeitung» im Verdacht steht Krankheitsursache zu sein, so muss diese <u>verlässlich</u> bekannt sein!*
- *Andere Bahnen haben sicher keine Probleme bei lückenloser, orts-, zeit-scharfer Unterhaltsdokumentation.*

Initiale Oberfläche(geschliffene Schiene, erkannt aus Messungen)

Messtechnische Erfassung von (zeitvariante) Eigenschaften auf der Schiene (ohne Fehler)

Initialer Zustand (Neue Schiene, Schienentausch)

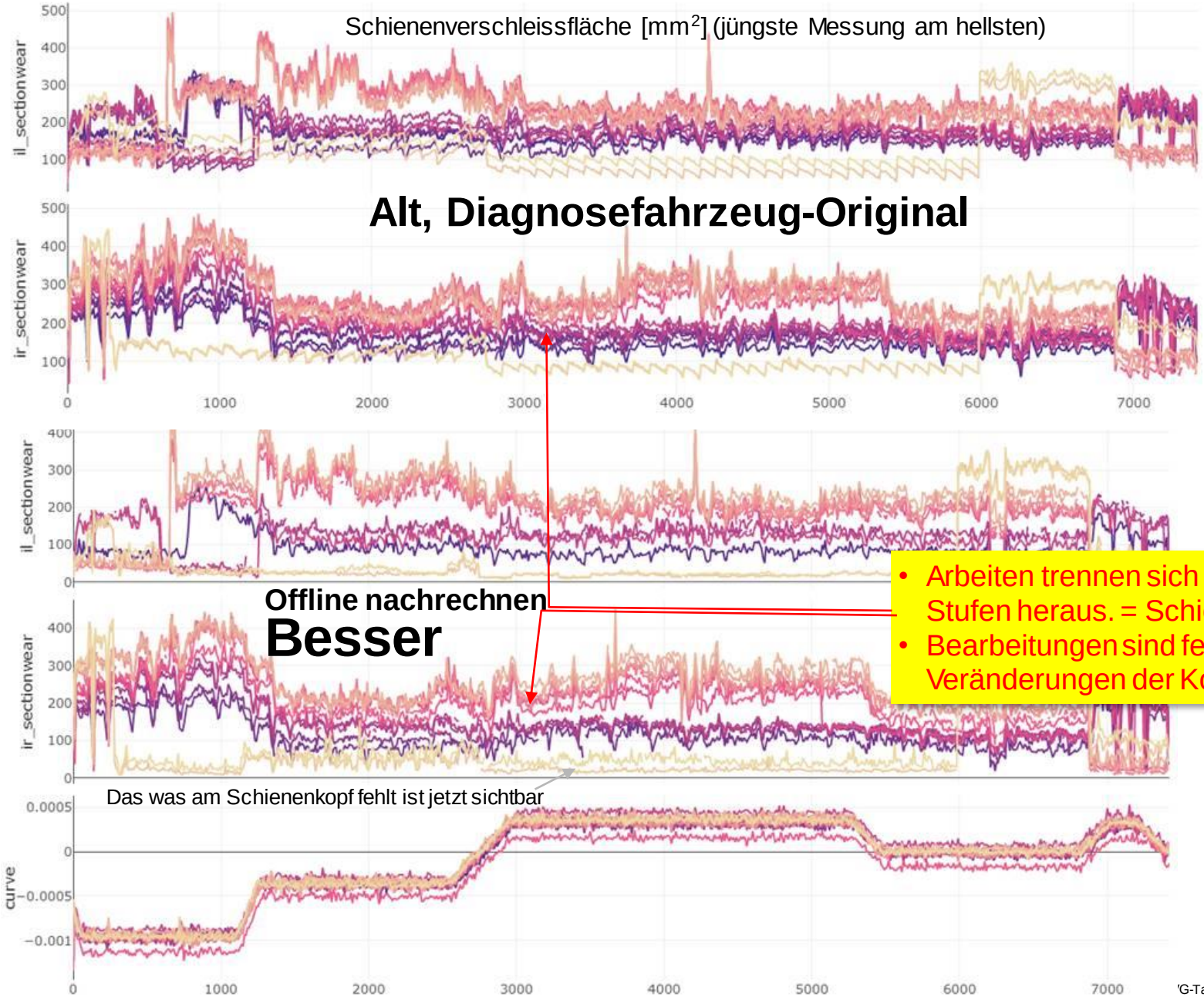
Zeitpunkt der Fehlerentdeckung

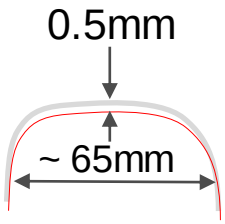
Messtechnische erfasste (zeitvariante) Eigenschaften **vor** dem Fehlereintritt

Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

Schienenbearbeitung erkennen → «Verschleiss»



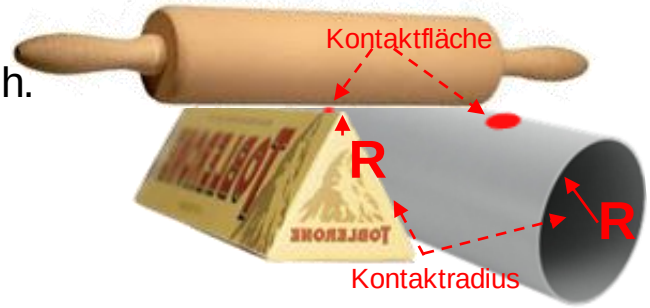


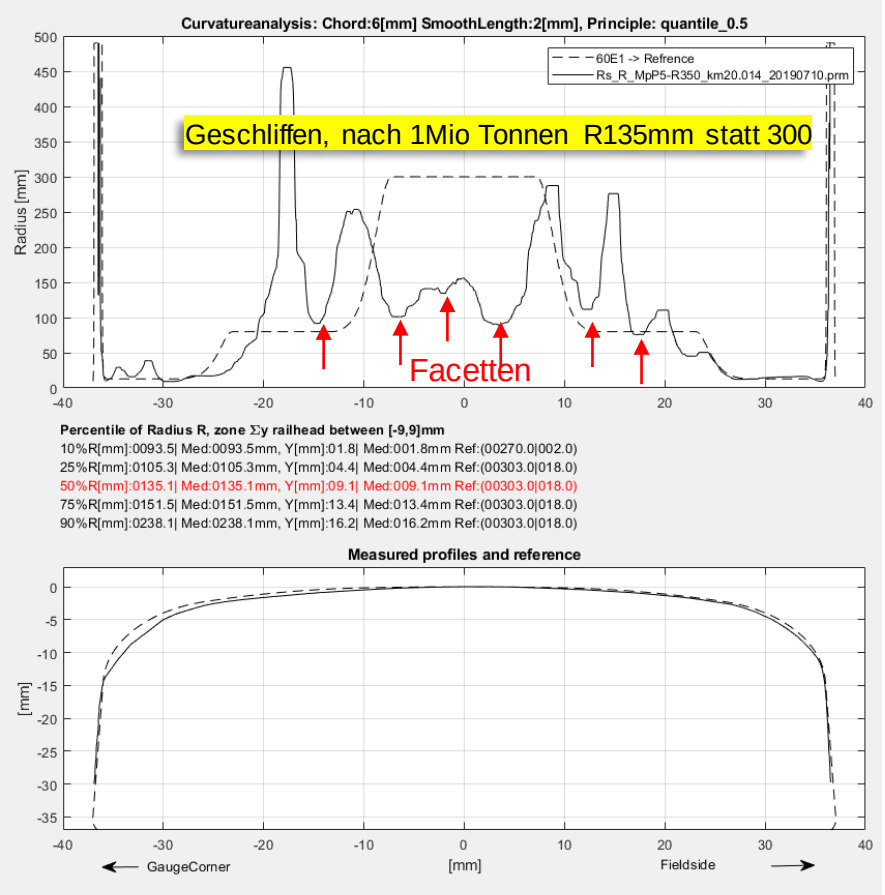
Präventiv Schleifen: 35mm²

- Arbeiten trennen sich jetzt als Stufen heraus. = Schienenbearbeitung
- Bearbeitungen sind ferner in Veränderungen der Konizität sichtbar

«Schienenbearbeitung/Qualität erkennen»

- Die resultierende Schienen-Kopfgeometrie nach Bearbeitung ist entscheidend!
- Tendenziell verursacht Schienenschleifen eher «eine Tobleronepackung». Kontaktspannung steigt erheblich.





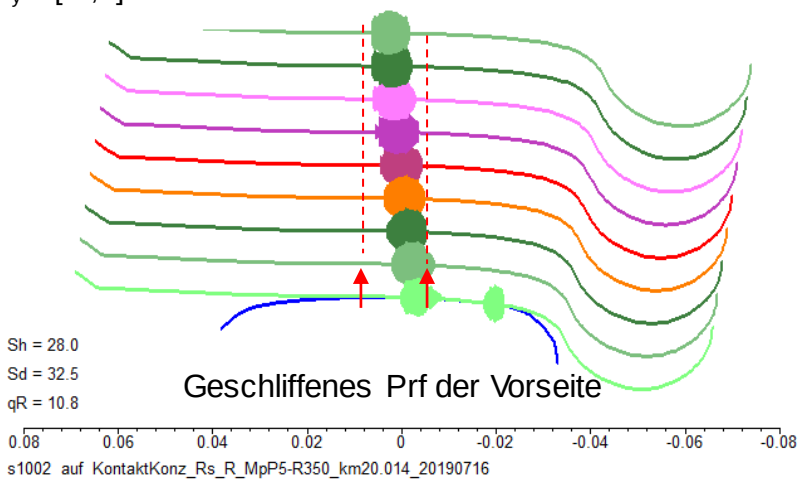
← Via «Kopf-Facettierung» lässt sich die Geometrieabweichung beschreiben. Rückwärts gesehen mögliche spätere geometrische Zielform.

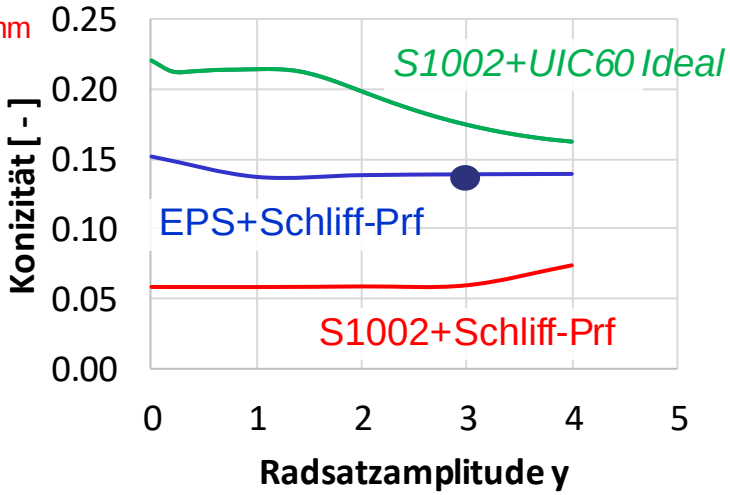
Geriefte Schiene von der Seite, «anfahrendes Fahrzeug» → Realität nach dem Schleifen.

«Schienenbearbeitung/Qualität erkennen»

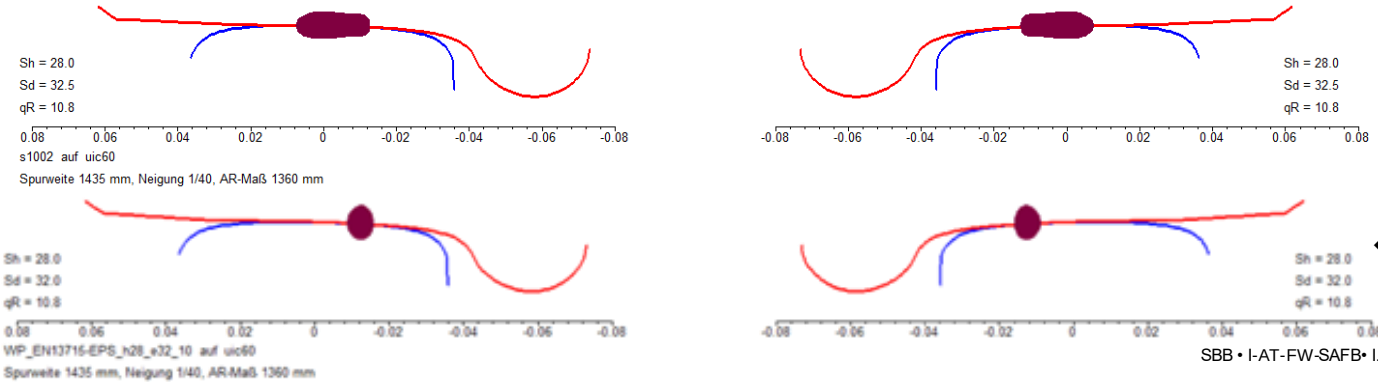
- Die Kontaktkonzentration (oder Volatilität) beschreibt, wie sehr die Berührzone durch Querbewegung des Radsatzes wandert. (Hohe Konzentration = «Selbstverstümmelung» Infra)

u_y = [-3,3]mm → CP±2.5mm +2x Kontakthalbachse 4mm = Fahrspiegel 13 mm





- Veränderung Räder S1002/EPS, eine **systemische Folge** *(S1002 nicht mehr stabil)*



← S1002/UIC 60E1

← EPS/UIC 60E1

Stand: «Schienenbearbeitung/Qualität erkennen»

- Lückhafte Dokumentation der Gleis-Instandhaltungsarbeit auch bei SBB! ABER! → Schienenbearbeitung hebt sich aus den korrigierten Verschleissdaten ab
- Aktuelle Schienenverschleissdaten des DFZ genügen für Instandhaltung, nicht aber für diffizile Fragen. (algorithmische Loslösung von Firmen «MERMEC, INFOTRANS» ohnehin angezeigt)
- Schienenkopf ist per Geometrie- (Facettierung) und Spannungsgrössen Kontaktkonzentration beschreibbar. (Nur eine Geometrie lässt sich Instandhaltern vorgeben)
- *Nicht beschreibbar: «lokale Rauigkeit nach dem Schliff»*, (..aber die Abbaurate der Spannungsüberhöhung über Tonnage wurde nach Schleifarbeit 2019 ermittelt)
- **Hypothese:**
  - Schleifriefen und Kontaktkonzentration führen zur Überlastung + hoher Antriebsschlupf zum Überhitzen die Aspheriten (Rauhigkeitsspitzen).
  - Auf den Aspheriten bilden sich harte, spröde martensitische Schichten (Withe Etching Layer) als Risskeime. [Konnte 2019 so am Gleis beobachtet werden]

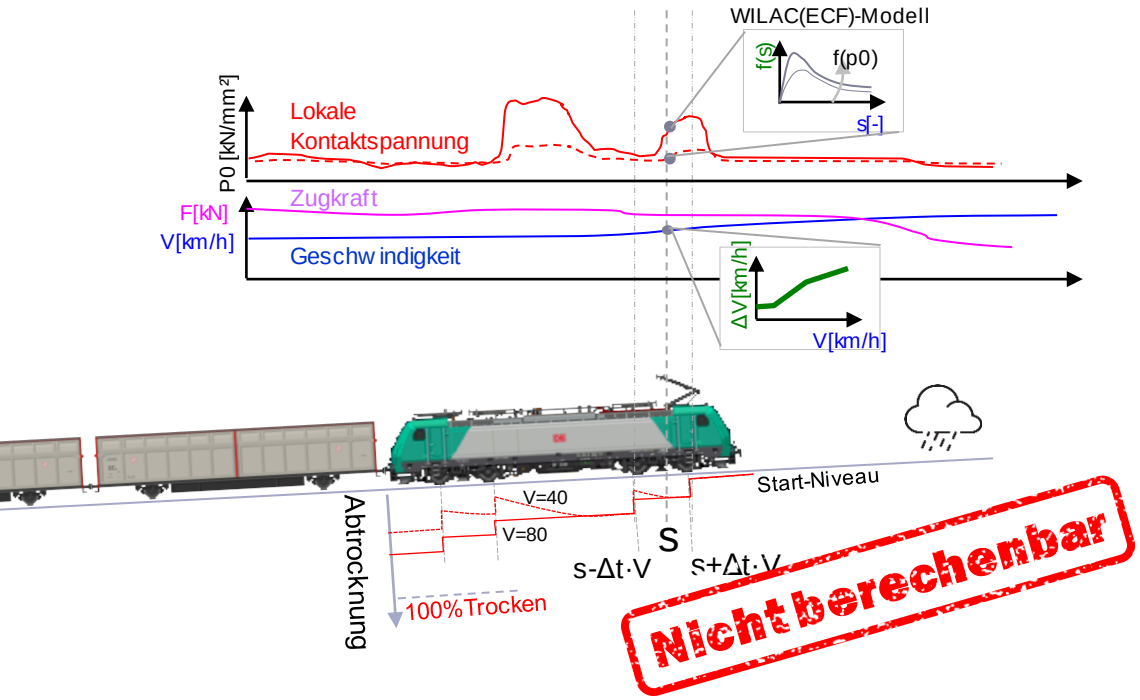
«Eigenverschuldensteil» Infrastruktur abgehandelt, .. zu den Fahrzeugen !

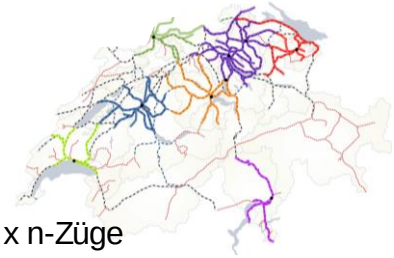
Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

«Abbildung der Traktionstechnik»

Show-Stopper: Temperaturrechnung im Rad-Schiene-Kontakt auf Gross-Cluster

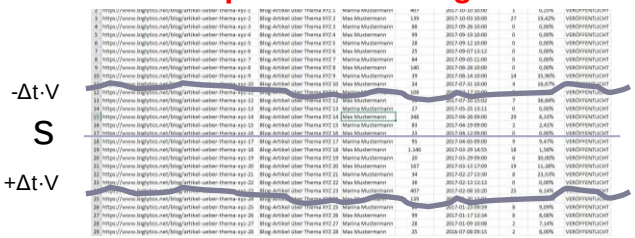




Netzberechnung:

5 Mio Meter x n-Achsen x n-Züge

Bedeutet pro Berechnung 1 aus 200 Mrd



Wenn um den stationären Punkt variabel rück-, oder vorwärts Records gesucht werden müssen (+ Sortierung) ist die nötige Performance zerstört.

Abbildbar sind nur Zustandsgrössen !

- Radentlastungen als f(F_{zug}); Umschichtungen von Traktionskräften; achsspezifische ΔV-Vorgabe

Abhängigkeiten sind nicht Abbildungsfähig, so sie nicht auf Zustandsgrössen umgeformt werden

- Kraftschlusserholung an der Achse welche Reibleistung investiert
- Schlupfsteigerungsraten (Steigerung zu Zeitpunkt zuvor), Rollier-Anregungen /«Vorgeschichte»

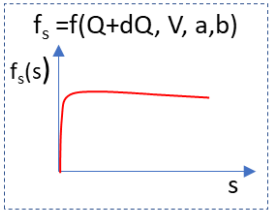
«Abbildung der Traktionstechnik»

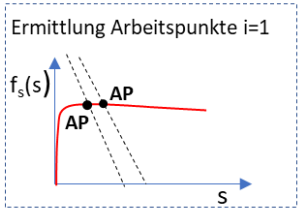
Lösung: Vorberechnung (Traktions-Sim) ,Abfahren des gesamten Werteraums

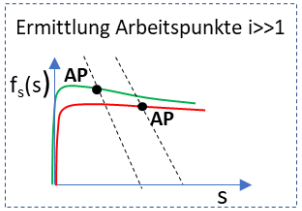
Werteraum am Netz erwartbarer Kontakt und Betriebsgrössen

Werte-Raum

- V[m/s]
- $2Q_0$ (Fahrzeugmasse)
- Trockenstufe Achse1 (0..0.9)
- Kontaktabmessung (a,b)
- Fz-Soll
- ($\Delta Ø_{Rad}$)







Start-Funktion für Achse 1
(Achse 1 = fix, nur abhängig von ΔQ_1)

Start=0

$FzDG_1$
$FzDG_2$
FzGes
...

ΔQ_1
ΔQ_2
ΔQ_3
...

$fs_1(s)$
$fs_2(s)$
$fs_3(s)$
...

«Aufschalten»

AP

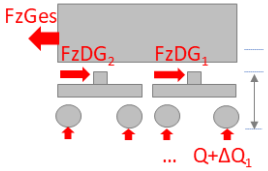
Fz1,s_1
Fz2,s_2
Fz3,s_3
...

F ·s

P1; E1
P2; E2
P3; E3
.....

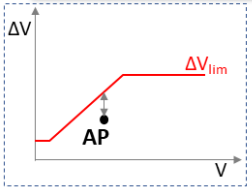
Σ

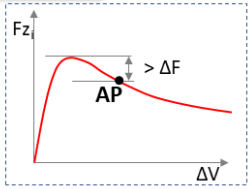
$FzDG_1$
$FzDG_2$
FzGes
...



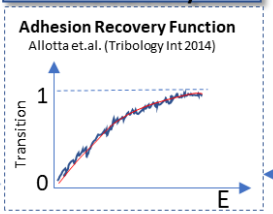
«Aufschalten» abbrechen

Aufschalt-Logik
«Regelungstechnik»



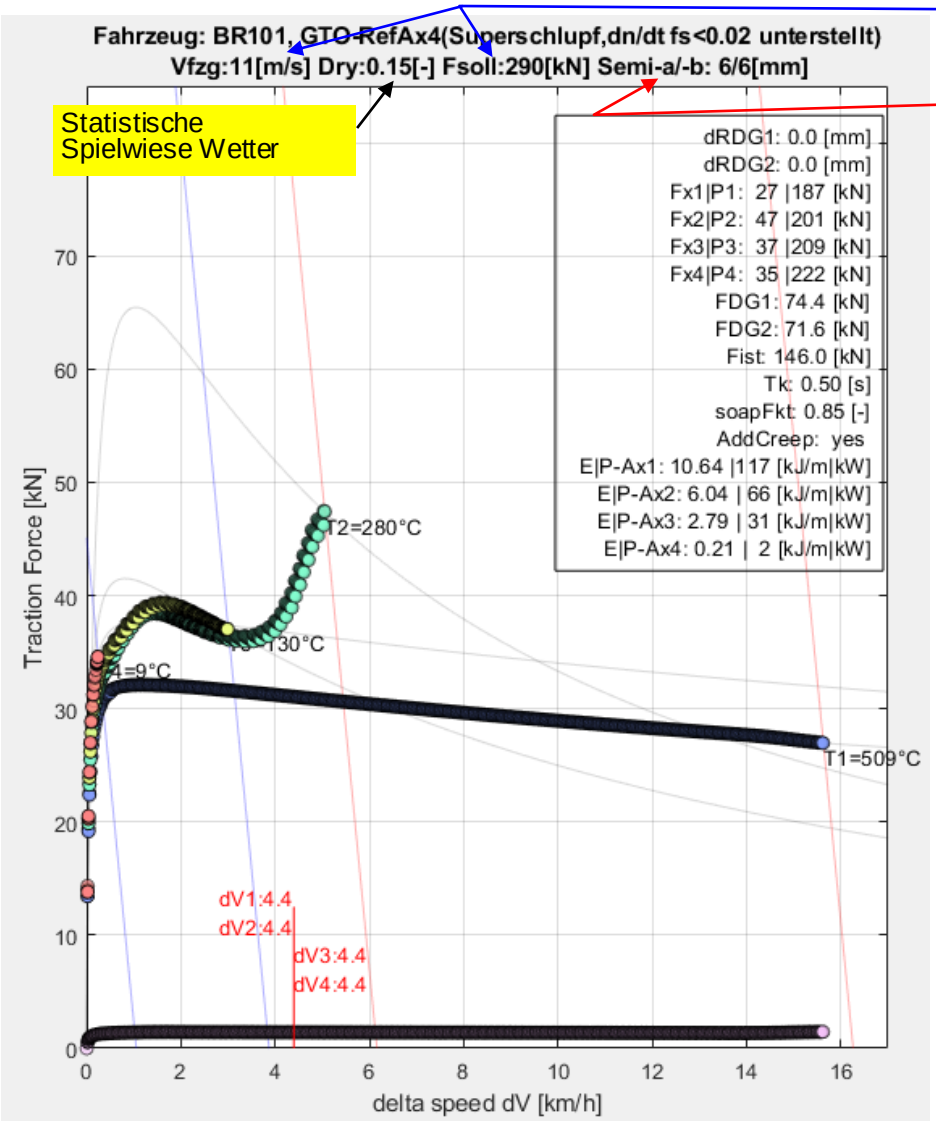


Adhesion-Recovery



«Abbildung der Traktionstechnik»

Matlab–Konstrukt für beliebig konfigurierbare Fahrzeuge



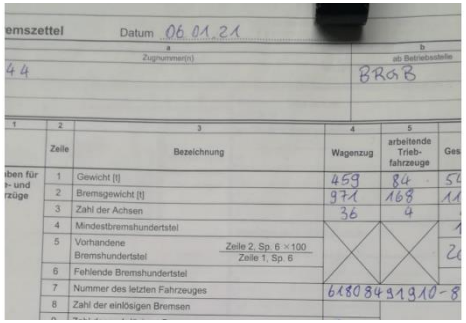
Aus der Zuglaufrechnung

Aus den lokalen Infrastrukturdaten (Kontaktabmessungen)

- Temperaturen lassen sich nun um den Faktor für «raue» Schienen überhöhen und für jede Überfahrt als thermische Energie oder als «WEL-Schicht-dicke» akkumulieren
- Jedes angetriebene Fzg wird durch eine solche Flat-Table abgebildet.
- Damit sind Effekte auch inner-halb von Triebzügen näherungs-weise abbildungsfähig

«Abbildung der Traktionstechnik»

- Eindrücke realen Schlupfgeschehens



- Gut sichtbar, die auch in der Einfach-Simulation sich einstellenden differenzierten Schlüpfe, aber auch das Zeitverhalten was <u>nicht</u> per Rechen-Cluster abgebildet wird. (Abstriche unumgänglich)
- Beratende Unterstützung eines pensionierten Traktionsregelexperten ermöglichte die Verfahrens-entwicklung und gab Tiefblicke in die verborgene Entwicklungshistorie der Traktionstechnik frei!!
- SBB startete 2017 eine Industriebefragung. 2020 erklärt sich die Industrie bereit der SBB Einblick zu gewähren via vermittelnden neutralen Institut (KTH Stockholm)

Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

Labelling von Squatfehlern – Begleitumstände

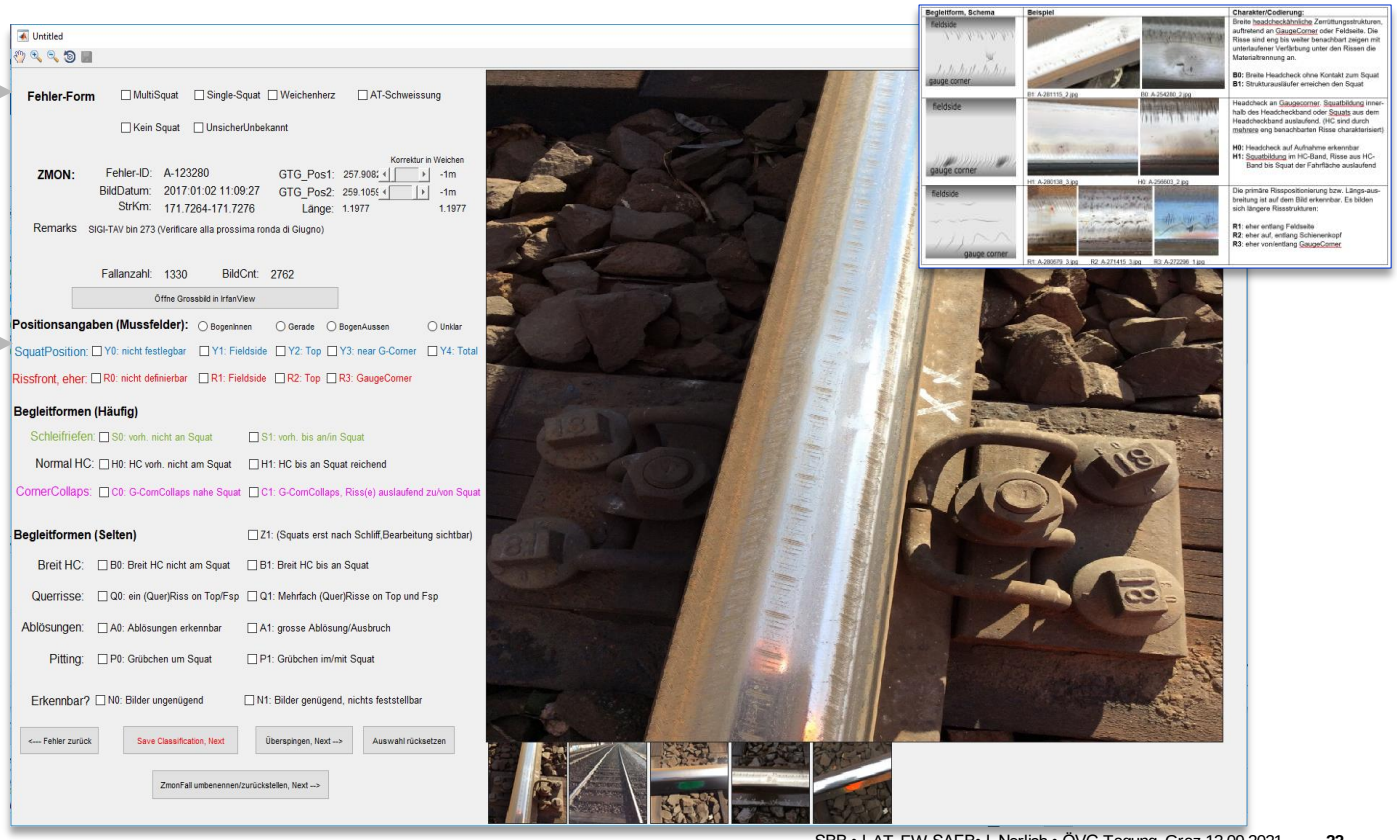
Squat sind ein Sammelbegriff diverser Formen des «Ablebens der Schiene»

- → UT-Fehler der letzten Jahre wurden auch fotografisch dokumentiert. Manuell werden die Fälle kodiert und die Begleiterscheinung/Lage statistisch verwertbar fixiert.
  (Eigenbau einer Labeling-Applikation in MATLB→ etwas erträglicher, 6000 Bilder/Jahr «nix mit SBB HighTech»)
- → Bei Grossteil der Fälle (~50%) sind Schleifriefen oder schwarze Grübchen Begleiter.

Fehlerform:
- Multiple
- Single
- Schweissung

Lage / Rissorientierung

Begleitformen:
(im/um den UT-Fehler):
- Schleifriefen
- Headcheck
- …



Agenda:

1. **Einleitung, Übersicht der Einflussparameter**
   - *Fallzahlen*
   - *Squats als «Systemversagen oder Systemerkrankung» !*
2. **Grundlage netzweite Statistik, «statistisches Datenset»**
   - *Positionspunkt und lokale Historie*
3. **Teilarbeiten:**
   - Schienenbearbeitung/Qualität erkennen
   - «Abbildung der Traktionstechnik»
   - Labelling von Squat-Fehlern
4. **Zusammenfassung:**

Zusammenfassung

- Dem «grundlegendem Verstehen» verschliessen sich Squats, weil die Aufhellung der Begleitumstände schwer/unmöglich ist: *Schienenbearbeitung(raue Schiene),lokale Traktion und Fahrzeugantrieb*/Verhalten.
- Squats sind ein «Gesamt-Systemversagen», sie werden absehbar störende Begleiter am Fahrweg bleiben! SBB hofft, das Risiko ihres Auftretens beschreiben zu können.
- Die netzweite Statistik soll mit abgestufter Komplexität, von kumulierter Tonne bis thermische Belagsdichte die eigentlichen Schädigungstreiber (gewichtet) offenbaren.
- Für statistische Analysen ist das grosse Missverhältnis zwischen «Gesundem Gleis (2x5500 km)» und wenigen Schad-Kilometern zu beachten. Datenqualität ⇧⇧!!
- Im Datenlabor Fahrweg investiert(e) SBB Mannjahre in die Hebung der Datenqualität. Ergebnissen der Netzanalyse sollen im Jahr 2021 vorliegen.
- Abhängig von den Ergebnissen werden Folgeaktivitäten ausgelöst:
  - Industriebefragung zur detaillierten Abbildung des Fahrzeugverhaltens
  - Analyse und Veränderung der Schienenrauigkeiten mit den Instandhaltungsfirmen
- Die Entwicklungen auf der Radseite sind folgerichtig aber sehr besorgniserregend!
- Initiative D-A-CH Bahnen: es gibt auch eine makroskopische «Kontrollgruppe»: ÖBB!

SBB CFF FFS

Danke für die Aufmerksamkeit

ingolf.nerlich@sbb.ch